

К вопросу ускорения селекционного прогресса на примере модельного стада скота голштинской породы с использованием процедуры BLUP

Е. Н. НАРЫШКИНА¹, Г. Н. СИНГИНА¹, Л. П. ИГНАТЬЕВА¹, А. А. СЕРМЯГИН², И. А. ЛАШНЕВА¹

¹Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, Подольский р-н, Московская обл., 142132, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального научного центра животноводства ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста (ВНИИГРЖ), Московское ш., 55а, Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация

Резюме. Исследование проводили с целью прогнозирования племенной ценности животных методом BLUP Animal Model на примере модельного стада голштинской породы для повышения эффективности работы с маточным поголовьем. Работу выполняли в Краснодарском крае на основании информации первичного племенного учета по признакам молочной продуктивности и воспроизводительной функции коров за период 2020–2025 гг. Компонентный состав молока оценивали на анализаторе MilkoScan 7 (FOSS, Дания). Отбор проб молока осуществляли индивидуально во время проведения ежемесячных контрольных доений в течение лактации. Племенную ценность (EBV, Estimated Breeding Value) животных (n=381 гол.) по молочной продуктивности рассчитывали для признаков удой, массовая доля жира, массовая доля белка на основе однопризнаковой модели BLUP AM. Племенную ценность телок случного возраста (n=130 гол.) по селектируемым признакам молочной продуктивности рассчитывали на основании показателей родителей. Точность оценки (Rel) племенной ценности (EBV) изучаемого поголовья животных по признакам молочной продуктивности для удоя составила 62,9...75,7 %, для количества молочного жира (КМЖ) – 58,8...72,0 %, количества молочного белка (КМБ) – 54,1...81,0 %. Разработана стратегия управления маточным поголовьем, основанная на прогнозировании EBV, согласно которой 6,9 % коров и 10,5 % телок с высокими положительными показателями EBV по удою и компонентам молока (EBV-удой +77,9...+714,5 кг, EBV-МДЖ +0,01...+0,14 %, EBV-МДБ +0,001...+0,04 %) выделены как потенциальные доноры ооцитов для процедуры прижизненного извлечения ооцитов методом OPU. Животные с низким EBV (11,3 % коров и 5,3 % телок), имеющие отрицательные оценки по удою и компонентам молока (EBV-удой -78,8...-341,8 кг, EBV-МДЖ -0,001...-0,14 %, EBV-МДБ -0,001...-0,07 %), определены как реципиенты эмбрионов, что позволяет эффективно использовать низкопродуктивную часть стада для получения генетически ценных потомков.

Ключевые слова: корова, BLUP, племенная ценность, селекционный прогресс, голштинская порода.

Сведения об авторах: Е. Н. Нарышкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: selection.76@mail.ru); Г. Н. Сингина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: g_singina@mail.ru); Л. П. Игнатьева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: ignatieva-lp@mail.ru); А. А. Сермягин, кандидат сельскохозяйственных наук, директор (e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru); И. А. Лашнева, кандидат биологических наук, ведущий специалист (e-mail: lashnevair@gmail.com).

Для цитирования: К вопросу ускорения селекционного процесса на примере модельного стада скота голштинской породы с использованием BLUP оценки животных / Е. Н. Нарышкина, Г. Н. Сингина, Л. П. Игнатьева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 8. С. 66–74. doi: 10.53859/02352451_2025_39_8_66

On the issue of accelerating the selection progress using the example of a model herd of holstein cattle based on a BLUP animal estimate

Е. Н. Naryshkina¹, G. N. Singina¹, L. P. Ignat'eva¹, A. A. Sermyagin², I. A. Lashneva¹

¹Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, pos. Dubrovitsy, 60, Podolskii r-n, Moskovskaya obl., 142132, Russian Federation

²All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Moskovskoe sh., 55a, Sankt-Peterburg, 196601, Russian Federation

Abstract. The study was carried out in order to predict the breeding value of animals using the BLUP Animal Model method using the example of a Holstein model herd to increase the efficiency of working with breeding stock. The research was conducted in the Krasnodar Region on the basis of information from primary breeding records on the characteristics of milk productivity and reproductive function of Holstein cows for the period 2020–2025. During this period, the component composition of milk was studied using a MilkoScan 7 (FOSS, Denmark) based on infrared spectroscopy. Milk sampling of cows was carried out individually during monthly control milking during lactation. Breeding value (EBV, Estimated Breeding Value) of cows (n=381 heads) Milk yield (kg), mass fraction of fat (%), and mass fraction of protein (%) were calculated for the characteristics based on the BLUP AM single-label animal model. Breeding value of heifers of random age (n=130 heads) according to the selected characteristics of milk productivity: milk yield (kg), mass fraction of fat (%), mass fraction of protein (%) was calculated based on the data of the breeding value of the parents. The accuracy of the assessment (Rel) of the breeding value (EBV) of Holstein breed animals based on milk productivity was 62.9...75.7% for milk yield, 58.8...72.0% for KMB, 54.1...81.0% for KMB, which confirms the possibility of its use to assess the genetic potential. A breeding stock management strategy based on EBV forecasting has been developed: 6.9% of cows and 10.5% of heifers with high positive EBV indicators for milk yield and milk components (EBV-milk yield +77.9...+714.5 kg, EBV-MJ +0.01...+0.14%, EBV-MDB +0.001...+0.04%) are allocated as potential donors of oocytes for the procedure of intravital extraction of oocytes by the OPU method. Animals with low EBV: 11.3% of cows and 5.3% of heifers with negative milk yield and milk components ratings (EBV-milk yield from -78.8...-341.8 kg, EBV-MJ from -0.001...-0.14%, EBV-MDB from -0.001...-0.07%) were identified as embryo recipients, which it allows efficient use of the low-productive part of the herd to obtain genetically valuable offspring.

Keywords: cow, BLUP, breeding value, selection progress, Holstein breed.

Author Details: E. N. Naryshkina, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: selection.76@mail.ru); G. N. Singina, Cand. Sc. (Biol.), head of laboratory (e-mail: g_singina@mail.ru); L. P. Ignat'eva, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: ignatieva-lp@mail.ru); A. A. Sermyagin, Cand. Sc. (Agr.), director (e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru); I. A. Lashneva, Cand. Sc. (Biol.), leading specialist (e-mail: lashnevair@gmail.com).

For citation: Naryshkina EN, Singina GN, Ignat'eva LP, et al. [On the issue of accelerating the selection progress using the example of a model herd of holstein cattle based on a BLUP animal estimate]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025;39(8):66–74. Russian. doi: 10.53859/02352451_2025_39_8_66

Внедрение инновационных подходов и передовых технологий способно ускорить генетический прогресс в молочном скотоводстве и увеличить эффективность производства молока. Основной целью селекционного прогресса выступает повышение генетической ценности животных [1]. Современное развитие биотехнологий открывает возможности для оценки генетических маркеров, связанных с селекционируемыми признаками, что помогает определить потенциал животного. Использование репродуктивных технологий, в том числе трансплантации эмбрионов, позволяет получать эмбрионы высокого качества, обеспечивая массовое воспроизводство ценных особей и ускоряя распространение высокоценных генотипов в стаде. Эти технологии особенно важны в племенных хозяйствах, где сосредоточено основное внимание на создании высокоценного в племенном отношении скота [2, 3, 4].

Биотехнологические методы демонстрируют значительный потенциал для устойчивого развития животноводства с экономической точки зрения: генетические улучшения, достигнутые в одном поколении, передаются следующему. Но применение этих методов требует комплексного подхода. В последние годы появилось множество передовых геномных технологий, методологий и методов сбора фенотипических данных селекционируемых признаков молочной продуктивности, фертильности, экстерьера животных и другие. Программы совершенствования молочного скота используют методы статистического прогнозирования (BLUP) для оценки племенной ценности (EBV) [5, 6] и геномной селекции (GBLUP) [7, 8]. В сочетании с вспомогательными репродуктивными технологиями (BPT) эти подходы позволяют более точно отбирать и интенсивно использовать генетически ценных родителей, что ускоряет темпы генетического прогресса [3, 9, 10].

В условиях интенсивного производства молока возникают проблемы, связанные с репродуктивной функцией высокопродуктивных коров, которые приводят к потере телят. Это существенно снижает рентабельность отрасли из-за необходимости закупать дополнительных тёлочек для ремонта молочного стада [11]. Преждевременная выбраковка высокопродуктивных коров способствует вымыванию из популяции ценных генотипов, снижая эффективность отбора. В связи с этим особый интерес представляют технологии вспомогательной репродукции крупного рогатого скота [12].

Использование репродуктивных технологий, в том числе получение эмбрионов *in vitro*, на сегодняшний день широко распространено во многих странах мира (США, Канада, страны Европейского Союза) и служит инструментом селекционной работы. Особый интерес представляет возможность использования полученных эмбрионов от высокоценных в племенном отношении коров-доноров для переноса их менее ценным коровам-реципиентам, что сокращает интервал между поколениями. Этот метод позволяет получить больше потомков от коровы-донора [10, 13, 14].

За последнее десятилетие был достигнут прогресс в области повышения качества извлечения ооцитов и лабораторных процедур, что привело к увеличению эффективности производства эмбрионов *in vitro*. Ооциты извлекают из фолликулов яичников коров и тёлочек прижизненным методом

трансвагинальной аспирации (ovum pick up, OPU). Тёлки и первородящие коровы демонстрируют минимальную реакцию на процедуру OPU; повторные процедуры не оказывают отрицательного влияния на их здоровье [15].

В России технологию получения эмбрионов *in vitro* (in vitro embryo production, IVP) с использованием яйцеклеток, выделенных посредством трансвагинальной пункции фолликулов коров (OPU) можно использовать для разведения и сохранения ценных генотипов крупного рогатого скота. Необходимо учитывать, что увеличение периода использования доноров может привести к ухудшению качества выделенных из фолликулов ооцитов для дальнейшей трансплантации [16, 17].

В молочном скотоводстве большое внимание уделяется улучшению генетических характеристик популяции с целью повышения продуктивности. Продуктивность животного формируется под влиянием генотипа и условий окружающей среды. Генетические оценки определяют фенотип особи с учетом генетических факторов [5].

В начале 80-х годов прошлого столетия была представлена методология прогнозирования генотипа животных с использованием линейных моделей смешанного типа (BLUP Animal Model, BLUP AM). Эта модель учитывает данные о предках, собственной продуктивности животного и информацию о потомстве [6, 18]. Разработанная более трёх десятилетий назад статистическая методология позволяет прогнозировать генетическую ценность, максимально используя информацию об известных родственниках. Каждое животное вносит свой вклад в оценку своих сородичей, точно определяя генетические достоинства самок и обеспечивая последовательную основу для одновременной оценки самцов и самок в стаде [6].

Правильный расчёт генетических оценок в системах небольших сельскохозяйственных предприятий не представляет сложности при условии точного фиксирования фенотипических показателей и информации о родословной, несмотря на небольшой размер популяции [19].

Согласно приказа от 24 ноября 2020 года № 149, утверждена методика оценки племенной ценности сельскохозяйственных животных в государствах-членах Евразийского экономического союза. Методика предусматривает оценку племенной ценности (EBV) коров и быков молочного направления продуктивности на основе методологии BLUP AM (<https://docs.cntd.ru/document/566455306?ysclid=mcxe0r3l2x637608320>). Применение этого подхода в современных исследованиях способствует повышению молочной продуктивности, увеличению выхода молочного жира и белка, а также позволяет определить признаки, наиболее перспективные для включения в селекционные индексы [20].

Использование стандартных методов оценки племенной ценности (EBV) коров и телок по основным селекционируемым признакам молочной продуктивности, которые позволяют отбирать лучших особей для дальнейшего разведения, совместно с применением современных биотехнологий (метод OPU, позволяющий отбирать ооциты непосредственно из яичников ценных в племенном отношении коров) может способствовать ускорению генетического прогресса как на уровне стада, так и на уровне популяции в целом, тем самым повышая эффективность

животноводческих хозяйств. Новизна исследования заключалась в разработке методологической основы определения принципов и критериев отбора особей-доноров эмбрионов на основе применения генетической оценки племенной ценности животных.

Цель исследования – прогнозирование племенной ценности животных методом BLUP Animal Model на примере модельного стада голштинской породы для повышения эффективности работы с маточным поголовьем, используя высокоценных животных для их тиражирования путем эмбриотрансплантации при разных сценариях отбора для улучшения низкопродуктивной части стада.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в условиях опытного хозяйства Племенной завод «Ладожский» – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Краснодарский край.

За период 2020–2025 гг. собрана информационная база первичного племенного учета по признакам молочной продуктивности и воспроизводительной функции коров по последней законченной лактации ($n=381$ гол.) с использованием информационно-аналитической системы «Селэкс. Молочный скот» (РЦ «Плино»). В этот же период проводили анализ компонентного состава молока: массовая доля жира и массовая доля белка на анализаторе MilkoScan 7 (FOSS, Дания), работающего на основе инфракрасной спектроскопии. Отбор проб молока коров осуществляли индивидуально во время проведения контрольных доений (1 раз в месяц отбирали от каждой коровы пробу молока утром, в обед и вечером во время доения) в течение всего периода лактации. Оценку молочной продуктивности коров голштинской породы за лактацию проводили с учётом основных показателей, таких как удой за 305 дней лактации, массовая доля жира (МДЖ) в молоке, количество молочного жира (КМЖ), массовая доля белка в молоке (МДБ) и количество молочного белка (КМБ).

Расчет племенной ценности коров (EBV, Estimated Breeding Value), а также оценку вариационных компонентов аддитивной и средовой изменчивости, проводили в соответствии с методологией BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) в модификации Animal Model (включая коров) с использованием уравнения прогноза (EBV) по общепризнанной методологии (<https://docs.cntd.ru/document/566455306?ysclid=mcxe0r3l2x637608320>).

Племенную ценность (EBV) коров по молочной продуктивности рассчитывали для признаков удой (кг), массовая доля жира (%), массовая доля белка (%) на основе разработанного уравнения однопризнаковой модели животного BLUP AM для каждого признака продуктивности:

$$Y_{ikmn} = YS_i + L_k + AGE_m + animal + e_{ikmn} \quad (1)$$

где Y_{ikmn} – фенотипические измерения признаков молочной продуктивности; YS_i – фиксированный эффект года×сезона отела; L_k – фиксированный эффект номера лактации; AGE_m – регрессия на возраст отела; $animal$ – рандомизированный аддитивный генетический эффект животного; e_{ikmn} – рандомизированный случайный эффект.

Племенную ценность телок случного возраста ($n=130$ гол.) по селекционируемым признакам молочной продуктивности (удой, кг; массовая доля жира, %; массовая доля белка, %) рассчитывали на основании данных племенной ценности родителей согласно мо-

дели (<https://docs.cntd.ru/document/566455306?ysclid=mcxe0r3l2x637608320>):

$$EBV_n = 0,5 \times EBV_o + 0,5 \times EBV_m \quad (2)$$

где EBV_n – прогнозируемая племенная (генетическая) ценность потомка по селекционируемому признаку; EBV_o – племенная (генетическая) ценность отца по селекционируемому признаку; EBV_m – племенная (генетическая) ценность матери по селекционируемому признаку; 0,5 – весовой коэффициент.

В ходе исследования анализировали динамику изменения племенной ценности коров и прогнозируемую племенную ценность телок по признаку содержание жира и белка в молоке у коров на основании расчетных показателей племенной ценности коров и телок (<https://docs.cntd.ru/document/566455306?ysclid=mcxe0r3l2x637608320>) при изменении их племенной ценности по удою на каждые 200 кг в положительную и отрицательную сторону.

Для количественной характеристики наследуемости использовали величину дисперсии признака (коэффициент наследуемости) на основе анализа вариационно-ковариационных компонентов по процедуре ограниченного максимального правдоподобия (REML, Restricted maximum likelihood), которую вычисляли по формуле:

$$h^2 = \frac{V_g}{V_a + V_e} \quad (3)$$

где h^2 – коэффициент наследуемости (дисперсия), V_a – дисперсия, связанная с различиями в генотипе, V_e – дисперсия, связанная с влиянием среды.

Точность оценки племенной ценности (EBV) рассчитывали по формуле:

$$Rel = 100 \times \left(1 - \frac{S_e^2}{V_a} \right) \quad (4)$$

где Rel – точность оценки племенной ценности EBV; S_e – ошибка оценки племенной ценности (EBV); V_a – генетическая вариация признака.

Расчет оценок племенной ценности, генетических и паратипических корреляций, вариационно-ковариационных компонентов, ошибки EBV осуществляли с использованием программ семейства BLUPF90 (RENUMF90, REMLF90) в среде RStudio с помощью языка программирования R версии 4.3.1.

Выбор модели был обусловлен исходя из возможности оценки наиболее значимых фиксированных факторов (взаимодействие между годом и сезоном отела, номер лактации) на изменчивость признаков молочной продуктивности коров модельного стада. Ввиду небольшого поголовья коров и телок, взятых в исследование, была принята модель оценки по каждому из признаков (однопризнаковая модель) без учета в уравнении прогноза EBV корреляционных взаимосвязей.

Выбор уравнения модели оценки племенной ценности животных основывается на рамочном Решении Коллегии Евразийской экономической комиссии от 24 ноября 2020 г. №149 «Об утверждении методик оценки племенной ценности сельскохозяйственных животных в государствах – членах Евразийского экономического союза», в котором рекомендовано использование метода BLUP Animal Model.

Результаты и обсуждение. Мониторинг динамики молочной продуктивности коров голштинской породы позволяет выявить закономерности изменения удоя и количественных показателей молока в течение ряда лактаций, что важно для определения

Таблица 1. Молочная продуктивность коров голштинской породы за 305 дней последней законченной лактации

Последняя законченная лактация	Коров		Удой, кг		МДЖ, %		КМЖ, кг		МДБ, %		КМБ, кг	
	n	%	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %
1-я лактация	97	50,3	7100,4 ±121,2	16,8	4,04 ±0,05	11,6	286,3 ±5,1	17,6	3,33 ±0,02	6,0	237,4 ±4,0	16,6
Из них с продуктивностью >9000 кг молока	5	5,3	9531,2 ±91,1	14,3	3,98 ±0,02	10,5	379,3	16,6	3,26 ±0,02	6,7	310,7	15,9
2-я лактация	68	35,2	8375,3 ±175,7	17,3	3,87 ±0,05	10,9	330,5 ±6,5	16,1	3,29 ±0,03	6,5	283,7 ±6,0	17,5
Из них с продуктивностью >9000 кг молока	7	11,0	10500,3 ±105,6	15,2	3,65 ±0,06	11,1	383,3	17,2	3,31 ±0,03	5,9	347,5	16,6
3-я лактация и старше	28	14,5	7272,8 ±443,1	20,5	3,92 ±0,10	10,7	283,9 ±11,4	17,5	3,39 ±0,04	5,3	244,4 ±10,3	14,6
Из них с продуктивностью >9000 кг молока	2	1,8	9380,3		3,49		327,3		3,25		304,8	
В среднем по стаду	193	100	7458,8	18,2	3,95	11,1	293,8	17,1	3,36	5,9	250,9	16,3

потенциала каждого животного и выбора наиболее эффективной стратегии управления стадом [1, 18].

Молочное стадо ПЗ «Ладожский» представлено преимущественно коровами 1-й (50,3 %) и 2-й (35,2 %) лактации. Отмечали снижение массовой доли жира на 0,17 % и массовой доли белка на 0,04 % при росте удоя на 1274,9 кг ко второй лактации. Начиная с третьей лактации и далее удой за 305 дней снижался, но массовая доля жира и белка достигала 3,92 % и 3,39 % соответственно.

Среди коров с продуктивностью по последней законченной лактации (ПЗЛ) более 9 тыс. кг молока, доля животных составила: за 1-ю лактацию – 5,3 % (9531,2 кг молока, МДЖ 3,98 %, МДБ 3,26 %); за 2-ю лактацию – 11 % (10500,3 кг молока, МДЖ 3,65 %, МДБ 3,31 %); за 3-ю лактацию и старше – 1,8 % (9380,3 кг молока, МДЖ 3,49 %, МДБ 3,25 %). Независимо от номера лактации при увеличении продуктивности МДЖ и МДБ снижались (табл. 1).

Эти данные согласуются с отрицательными коэффициентами корреляции между удоем и МДЖ, как паратипической $r_p = -0,23$ ($p \leq 0,01$), так и генетической между удоем и МДЖ (МДБ): $r_g = -0,38 \dots -0,60$ ($p \leq 0,001$), которые указывают на отрицательную сопряженность селекционируемых признаков (табл. 2).

Отрицательная корреляция между удоем молока и массовой долей жира и белка свидетельствует о том, что несмотря на селекционную работу, предусматривающую подбор быков-производителей, улучшателей по удою и содержанию жира и белка в молоке (r_p (МДЖ–МДБ) = +0,42; r_g (МДЖ–МДБ) = +0,77), большое влияние оказывают паратипические факторы (факторы окружающей среды). Это объясняет, почему при увеличении надоев ресурсы организма направляются преимущественно на образование жидкой фракции, а на синтез жировых молекул их остаётся меньше. При этом положительная корреляция между удоем и общим количеством молочного жира ($r_p = +0,58$; $r_g = +0,85$) и белка ($r_p = +0,91$; $r_g = +0,96$) можно объяснить тем, что общий объем производимого молока увеличивается бы-

стрее, чем снижается концентрация жира и белка, что приводит к росту их абсолютного количества. При увеличении удоя, массовая доля жира и белка снижается, однако количество молочного жира и белка увеличивается, поскольку продуцируется больше молока (см. табл. 2).

Высокий коэффициент наследуемости удоя за 305 дней лактации ($h^2 = 0,44$) указывает на возможность эффективного отбора животных по этому признаку. Количество молочного жира и белка в молоке коров характеризуется относительно высоким коэффициентом наследуемости ($h^2 = 0,41 \dots 0,42$). Это свидетельствует о том, что 41...42 % наблюдаемой изменчивости в содержании жира и белка в молоке коров обусловлено генетическими факторами (см. табл. 2).

Возраст плодотворного осеменения телок составлял 16,4...18,1 месяцев и зависел от достижения живой массы не менее 400...410 кг. Это соответствует физиологическим нормам (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2073537/>).

Маточное поголовье дойного стада ПЗ «Ладожский» представлено преимущественно дочерьми быков-производителей линии Вис Бэк Айдиал. Среди них есть как животные с положительной оценкой по удою (+58,6...+772,2 кг, например, Ал. Эльдорадо, Боссанова-М, Мурано-М, Некстар-М, Трилоджи-М, Фаерворк, Флегрей-М, так и с отрицательной (-17,4...-440,4 кг, например, Винд Бой-М, Левино-М, Сотти-М, Фрайо-М).

Быки-производители Шимакс-М (линия Вис Бэк Айдиал) и Гуди-М (линия Вис Бэк Айдиал) по результатам использования в стаде продемонстрировали положительную племенную ценность (табл. 3) не только по удою (EBV-Удой = +772,1...+88,2 кг соответственно), но и по содержанию жира (EBV-МДЖ = +0,02...+0,03% соответственно), а также белка в молоке (EBV-МДБ = +0,01...+0,03% соответственно).

Аналогично расчетам корреляционной сопряженности между основными селекционируемыми признаками молочной продуктивности, оценки племенной ценности быков-производителей, используемых в стаде, при высоких значениях оценок по удою (EBV (Удой) +128,1...+451,1), отмечены отрицательные оценки по МДЖ и МДБ (EBV (МДЖ) -0,01...-0,08; EBV (МДБ) -0,01...-0,06).

Точность оценки племенной ценности (Rel) животных указывает на воз-

 Таблица 2. Коэффициенты генетической (r_g , выше диагонали) и паратипической (r_p , ниже диагонали) корреляции и коэффициенты наследуемости (по диагонали)

Показатель	Удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг
Удой, кг	0,44	-0,38***	0,85***	-0,6***	0,96***
МДЖ, %	-0,23**	0,15	0,14*	0,77***	-0,21**
КМЖ, кг	0,58***	0,62***	0,41	-0,28**	0,92***
МДБ, %	-0,07	0,42***	0,28**	0,24	-0,48***
КМБ, кг	0,91***	-0,06	0,66***	0,33***	0,42

*коэффициент корреляции статистически значим при $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$.

Таблица 3. **Рейтинг быков-производителей, используемых в ПЗ «Ладожское» с учетом их племенной ценности по признакам продуктивности (от большего к меньшему)**

Кличка отца	Линия	Число дочерей	Оценка племенной ценности EBV					Молочная продуктивность дочерей				
			EBV-удой	EBV-МДЖ	EBV-КМЖ	EBV-МДБ	EBV-КМБ	удой	МДЖ	КМЖ	МДБ	КМБ
Шимакс-М	Вис Бэк Айдиал	6	+772,1	+0,02	+35,63	+0,01	+25,49	8807,3	4,05	356,7	3,37	296,9
Некстар-М	Вис Бэк Айдиал	5	+451,4	-0,02	+18,22	-0,02	+15,88	7894,4	4,11	322,2	3,44	272,2
Ал. Эльдорадо	Вис Бэк Айдиал	6	+378	-0,07	+8,7	-0,06	+8,01	8355,0	3,68	306,6	3,11	260,2
Трилоджи-М	Вис Бэк Айдиал	20	+283	-0,07	+5,19	-0,04	+6,49	7800,4	3,47	270,6	3,03	236,3
Флегрей-М	Вис Бэк Айдиал	41	+200,4	-0,08	+0,52	-0,06	+2,48	7643,7	3,61	274,5	3,19	244,6
Фаерворк	Вис Бэк Айдиал	6	+174,4	0	+7,05	-0,02	+4,33	7708,5	4,01	308,9	3,32	255,8
Мурано-М	Вис Бэк Айдиал	8	+128,1	-0,01	+4,57	-0,01	+3,72	7373,3	4,14	304,1	3,35	247,2
Гуди-М	Вис Бэк Айдиал	9	+88,2	+0,03	+7,7	+0,03	+5,59	7424,8	4,09	303,8	3,45	256,1
Боссанова-М	Вис Бэк Айдиал	5	+58,6	-0,04	-1,4	-0,02	+1,33	7597,0	3,63	276,3	3,21	244,6
Шамри-М	Рефлекшн Соверинг	27	+31,1	-0,02	-0,67	-0,01	+0,93	7196,3	3,61	263,6	3,15	230,8
Марадонна-М	Монтвик Чифтейн	19	+0,03	+0,02	+1,03	-0,003	-1,05	8241,4	3,46	285,7	3,26	268,4
Лайфтери-М	Рефлекшн Соверинг	7	-2,04	+0,05	+4,87	+0,01	+0,56	7292,2	4,36	316,8	3,37	245,3
Винд Бой-М	Вис Бэк Айдиал	19	-17,4	+0,03	+2,2	+0,03	+1,72	7239,5	3,56	258,4	3,15	228,6
Эльсинор-М	Пабст Говернер	8	-17,7	+0,12	+11,19	+0,04	+3,59	7958,0	3,81	306,3	3,28	257,1
Сотти-М	Вис Бэк Айдиал	25	-48,6	-0,13	-14,63	-0,04	-5,14	7688,0	3,38	256,9	3,24	248,5
Колизей-М	Рефлекшн Соверинг	12	-190,8	-0,01	-8,6	+0,01	-5,07	6999,3	4,44	306,5	3,46	241,8
Левино-М	Вис Бэк Айдиал	13	-313,7	-0,03	-16,86	+0,01	-10,9	6657	3,95	259,1	3,33	220,9
Фрайо-М	Вис Бэк Айдиал	25	-440,4	+0,02	-17,13	+0,03	-12,94	6606	3,92	258,1	3,36	222,1
Юлианос-М	Рефлекшн Соверинг	6	-477,7	+0,09	-12,48	+0,06	-12,95	7099,4	4	282,2	3,4	239,1

возможность отбора животных с высокой племенной ценностью. Так, точность оценок по удою составляла 69,8...75,7 %, по МДЖ – 34,5...44,0 %, по МДБ – 41,4...49,7 %. Точность оценок ниже 50 % указывает на подверженность влиянию паратипических факторов (табл. 4). Невысокая точность оценки племенной ценности животного может указывать как на малое количество учтенных данных продуктивности (например, количество дочерей для быков при сравнении с одностадницами в определенной группе фактора год-сезон отела, число контрольных доений для коров), так и на низкую генетическую изменчивость признаков (в наших исследованиях для МДЖ и МДБ). В этой связи, полученные значения точности для EBV, на примере модельного стада, показывают предпочтительное использование в селекционном процессе прогноза племенной ценности быков-производителей (как наиболее точного), в сравнении с коровами. Однако при расчете племенной ценности телок (потомства) необходимо использовать наравне с оценками быков-отцов, также и оценки коров-матерей,

что в наибольшей степени будет характеризовать генетический потенциал стада.

Анализ динамики изменения племенной ценности коров и прогнозируемой племенной ценности телок по содержанию жира и белка в молоке при изменении племенной ценности по удою – один из инструментов в селекционно-племенной работе со стадом. Целью такого анализа считают построение селекционного процесса таким образом, чтобы был обеспечен баланс между признаками молочной продуктивности (удой, массовая доля жира и белка в молоке). При изменении оценок (EBV) по одному показателю (например, удою), необходимо понимать, как это повлияет на другой показатель (МДЖ, МДБ).

В среднем, по исследуемым животным наблюдали отрицательную зависимость между оценками по селекционируемым признакам молочной продуктивности – при EBV по удою за 305 дней лактации свыше +1000 кг, EBV по МДЖ и МДБ снижались до -0,17...-0,14 %, а при снижении EBV по удою ниже -1000 кг, EBV по МДЖ и МДБ увеличивался до

Таблица 4. **Точность оценки племенной ценности быков-производителей, используемых на маточном поголовье модельного стада, %**

Кличка отца	Точность (достоверность) оценки племенной ценности (EBV), %					Молочная продуктивность дочерей				
	Rel-удой	Rel-МДЖ	Rel-КМЖ	Rel-МДБ	Rel-КМБ	удой, кг	МДЖ, %	КМЖ, кг	МДБ, %	КМБ, кг
Шимакс-М	69,8	34,5	66,5	41,1	75,0	8807,3	4,05	356,8	3,37	296,9
Некстар-М	74,9	39,2	71,8	45,6	80,2	7894,4	4,11	322,2	3,45	272,3
Ал. Эльдорадо	71,8	37,2	68,8	43,5	77,0	8355,0	3,69	306,6	3,12	260,2
Трилоджи-М	73,4	41,8	70,8	47,5	78,0	7800,4	3,47	270,6	3,04	236,3
Флегрей-М	74,9	44,0	72,3	49,7	79,4	7643,7	3,61	274,5	3,20	244,6
ФАЕРВОРК	71,3	35,9	68,0	42,5	76,5	7708,5	4,01	308,9	3,32	255,8
Мурано-М	75,6	39,5	72,4	46,2	81,0	7373,4	4,15	304,2	3,36	247,2
Гуди-М	75,7	39,8	72,6	46,4	81,1	7424,9	4,10	303,9	3,45	256,1
Боссанова-М	71,3	36,3	68,2	42,7	76,5	7597,0	3,64	276,3	3,22	244,6
Шамри-М	73,0	42,2	70,5	47,8	77,4	7196,4	3,62	263,6	3,16	230,9
Марадонна-М	70,8	40,1	68,3	45,6	75,3	8241,4	3,46	285,7	3,26	268,4
Лайфтери-М	73,1	38,3	70,1	44,7	78,3	7292,3	4,36	316,8	3,38	245,3
Винд Бой-М	74,2	42,1	71,6	47,9	78,9	7239,5	3,57	258,5	3,15	228,6
Эльсинор-М	50,7	27,7	58,8	31,6	54,1	7958,0	3,81	306,4	3,29	257,1
Сотти-М	72,9	41,6	70,3	47,3	77,4	7688,0	3,39	256,9	3,25	248,5
Колизей-М	75,6	39,9	72,4	46,4	80,8	6999,3	4,44	306,6	3,46	241,9
Левино-М	72,0	39,2	69,2	45,1	76,8	6657,1	3,95	259,1	3,34	221,0
Фрайо-М	73,3	41,8	70,6	47,5	77,8	6606,1	3,93	258,1	3,36	222,1
Юлианос-М	69,6	35,3	66,5	41,6	74,7	7099,4	4,00	282,2	3,40	239,1

Таблица 5. Динамика изменения средних показателей селекционируемых признаков молочной продуктивности при изменении EBV по удою на каждые 200 кг

EBV-удой, кг	Средние значения EBV признаков молочной продуктивности					
	коровы			телки		
	EBV-удой, кг	EBV-МДЖ, %	EBV-МДБ, %	EBV-удой, кг	EBV-МДЖ, %	EBV-МДБ, %
+1000 и более	+1468,95	-0,17	-0,14	+1139,2	-0,04	-0,04
+800...+1000	+875,14	-0,01	-0,05	+885,07	-0,06	-0,05
+600...+800	+700,47	-0,08	-0,06	+674,71	-0,02	-0,03
+400...+600	+488,04	-0,06	-0,05	+510,76	-0,01	-0,02
+200...+400	+295,52	-0,04	-0,03	+302,81	-0,03	-0,02
0...+200	+108,72	-0,05	-0,02	+122,62	-0,01	+0,01
-200...0	-98,90	-0,01	+0,00	-105,21	+0,01	+0,02
-200...-400	-313,90	+0,01	+0,02	-293,23	+0,01	+0,02
-400...-600	-497,62	+0,02	+0,03	-503,41	+0,02	+0,04
-600...-800	-682,79	+0,03	+0,04	-904,82	+0,08	+0,08
-800...-1000	-923,91	+0,10	+0,08	-	-	-
-1000 и менее	-1401,57	+0,12	+0,11	-	-	-

+0,12...+0,11 %. До 75 % оцененных животных имели оценки по удою в диапазоне +488...-314 кг, при этом распределении оценки по МДЖ -0,04...+0,01%, по МДБ -0,03...+0,02 % (табл. 5, рис. 1, 2).

Согласно анализу диапазонов градаций по удою для коров и телок, а также абсолютных значений EBV по удою за 305 дней лактации, закономерность распределения животных в модельном стаде носила характер нормального распределения. Доля особей, образующих лучшие «+ варианты EBV» по удою, для коров составляла 16,1 % (+400...+600 кг молока), а для телок – 18,2 % (+600...+800 кг). Распределения лучшей, средней и худшей части маточного поголовья (см. рис. 1 и 2) можно использовать для построения генетического профиля стада по интересующим признакам продуктивности. Принятие в последствии селекционных решений с целью отбора животных, для более эффективного применения метода эмбриотрансплантации, позволит минимизировать риски получения особей с низкой племенной ценностью.

Аналогичное распределение наблюдали и у телок случного возраста. При увеличении прогнозируемой племенной ценности по удою более чем на +1000 кг значения оценок по массовой доле

жира и массовой доле белка снижались до -0,04 и -0,04 % соответственно. При снижении оценки по молоку ниже -500...-900 кг значения МДЖ и МДБ возрастают до +0,02...+0,08 % и +0,04...+0,08 % соответственно.

Следует отметить, что в исследуемой выборке выявлено 6,9 % животных племенной ценности которых по удою составляла +90,2...+714,5 кг, по массовой доле жира – +0,01...+0,10 %, по массовой доле белка – +0,001...+0,04 %. Эти животные представляют селекционный интерес, и их рекомендуется использовать для получения ооцитов методом ОРУ, получения эмбрионов методом *in vitro* и последующей трансплантации этих эмбрионов коровам с низкой племенной ценностью. Также выявлено 10,5 % телок, с высокими показателями племенной ценности: EBV-удой +77,9...+677,9 кг, EBV-МДЖ +0,01...+0,14 %, EBV-МДБ +0,001...+0,04 %. Эти животные также представляют селекционный интерес и могут использоваться в качестве доноров ооцитов с применением процедуры ОРУ. Коров (11,3%) и телок случного возраста (5,3%), имеющие отрицательные значения племенной ценности как по удою, так и по массовой доле жира и белка в молоке можно использовать, как животных-реципиентов (рис. 3).

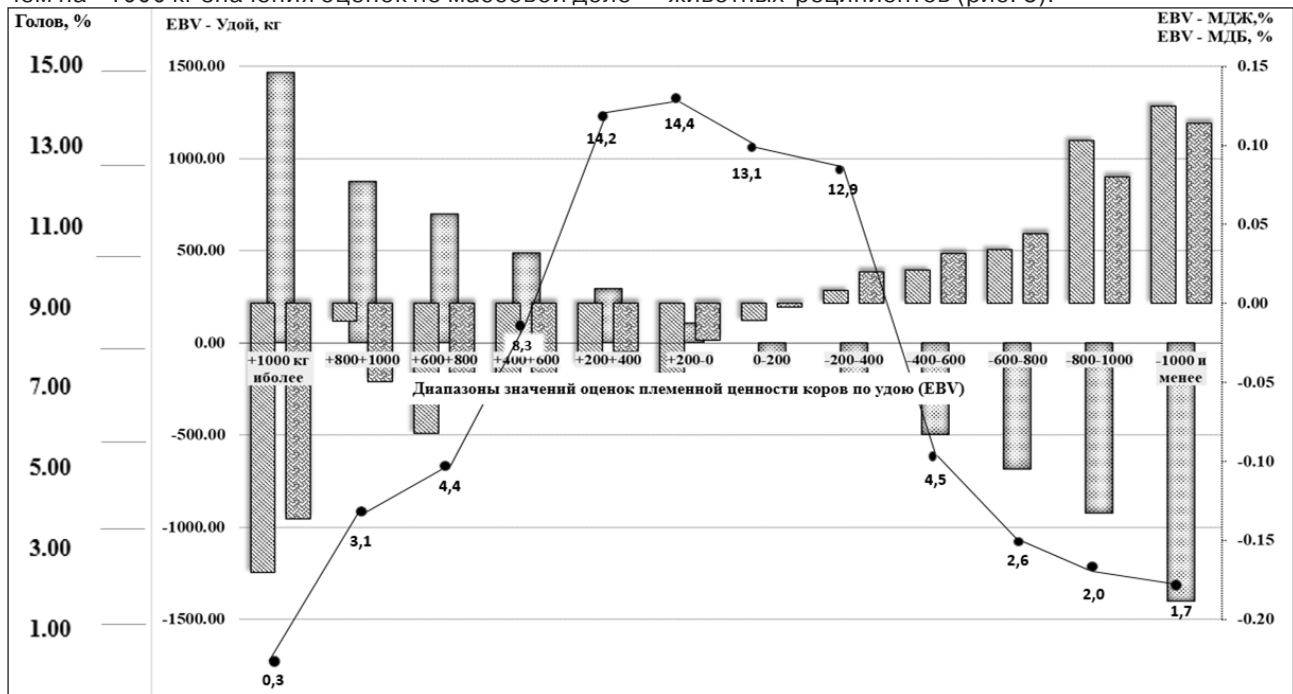


Рис. 1. Динамика изменения племенной ценности коров по признакам МДЖ и МДБ в молоке по отношению к изменению EBV по удою от max до min значения: ■ – EBV-удой, кг; ■ – EBV-МДЖ, %; ■ – EBV-МДБ, %.

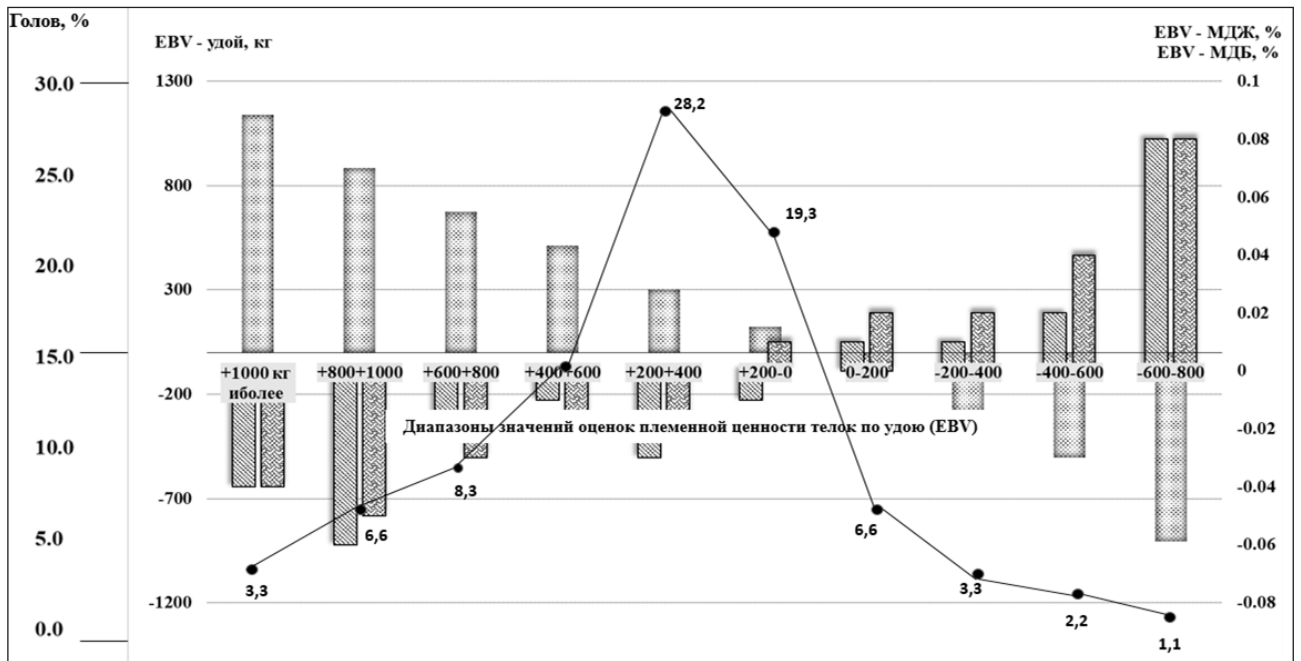


Рис. 2. Динамика изменения племенной ценности телок по признакам МДЖ и МДБ в молоке по отношению при изменении EBV по удою от max до min значения: ■ – EBV-удой, кг; ■ – EBV-МДЖ, %; ■ – EBV-МДБ, %.

Схематизация (см. рис. 3) селекционного процесса с применением технологии генетической оценки методом BLUP и процедуры OPU, на примере модельного стада, позволяет ранжировать животных стада по величине EBV для признаков молочной

связи с этим процедуру можно рекомендовать для внедрения в сельскохозяйственных предприятиях с целью получения и тиражирования высокоценных в племенном отношении животных. Нами предложены требования, сведенные в эмпирическую схему последовательных действий,

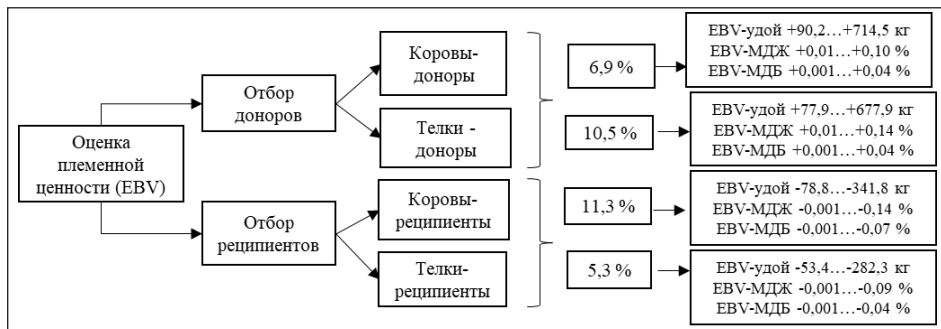


Рис. 3. Схема отбора животных коров/телок-доноров и коров/телок-реципиентов на основании результатов оценки племенной ценности (EBV) маточного поголовья для внедрения процедуры OPU (*in vitro*) на примере модельного стада.

продуктивности и разделять их на группы по отбору особей-доноров и реципиентов. Дальнейшее разделение групп на коров и телок позволяет учесть не только величину племенной ценности, но и с одной стороны с большей точностью предсказывать эффект отбора путем оценки по собственной продуктивности коров-доноров за ряд законченных лактаций, а с другой – более интенсивно использовать новые генерации телок, полученных от быков-отцов с более высокой племенной ценностью и прошедших процедуру отбора по EBV коров-матерей, сокращая при этом интервал между поколениями.

Использование процедуры OPU обеспечивает получение потомства с высокой генетической ценностью и сокращает интервал между поколениями. В

связи с этим процедуру можно рекомендовать для внедрения в сельскохозяйственных предприятиях с целью получения и тиражирования высокоценных в племенном отношении животных. Нами предложены требования, сведенные в эмпирическую схему последовательных действий, на примере модельного стада, по отбору коров-доноров и реципиентов. Они включают три этапа последовательных технологических операций: оценка племенной ценности особей, исследование генетических их особенностей и собственно использование процедуры эмбриотрансплантации. Первый этап подразумевает полный анализ стада на основе

фенотипической информации (абсолютные показатели продуктивных качеств) по группе хозяйственно ценных признаков с применением всех имеющихся источников данных (оценка по родословной, геному, собственной продуктивности и качеству потомства) (рис. 4).

Второй этап заключается в анализе молекулярно-генетической информации при генотипировании

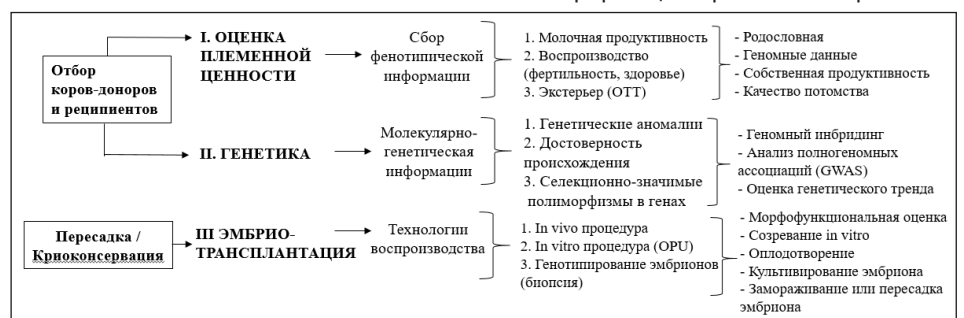


Рис. 4. Требования к технологии отбора животных на основании результатов оценки племенной ценности маточного поголовья и дальнейшего отбора животных для процедуры OPU (*in vitro*).

коров и телок по ряду наследственных заболеваний, оценке достоверности происхождения и селекционно-детерминированным генам (белки молока, жирового обмена и др.). Инструментами в этом случае будут выступать методы геномного тестирования для величины инбридинга, ассоциативного анализа для множества полиморфизмов, равномерно распределенных в геноме, при прогнозировании генетического тренда стада.

Третий и заключительный этап технологической цепочки будет состоять в тиражировании высокоценных генотипов животных, отобранных в результате двух предыдущих этапов. Основа его будут базироваться на выборке методов получения эмбрионов (*in vitro* или *in vivo*), их генотипированию (при необходимости определения племенной ценности для закладки на долговременное хранение), отработке протоколов морфофункциональной оценки, их созревания, оплодотворения лучшим генетическим материалом, культивирования, криоконсервации и принятия решения о пересадке эмбрионов.

Выводы. С использованием стандартных инструментов и метода BLUP Animal Model возможно с достаточной точностью прогнозировать племенную ценность (EBV) животных модельного стада голштинской породы по основным селекционируемым признакам молочной продуктивности (Rel для удою 62,9...75,7 %, для КМЖ 58,8...72,0 %, для КМБ 54,1...81,0 %), что подтверждает возможность применения такого подхода к оценке генетического потенциала.

Выявленные отрицательные генетические ($r_g = -0,38...-0,60$) и фенотипические ($r_p = -0,23...-0,07$) корреляционные зависимости между признаками удою и содержанием жира и белка в молоке указывают на необходимость комплексного подхода к от-

бору животных, учитывающему и количественные, и качественные показатели продуктивности, а также влияние паратипических факторов.

Разработана стратегия управления маточным поголовьем, основанная на прогнозировании EBV, согласно которой 6,9 % коров и 10,5 % телок с высокими положительными показателями EBV по удою и компонентам молока (EBV-удой +77,9...+714,5 кг, EBV-МДЖ +0,01...+0,14 %, EBV-МДБ +0,001...+0,04 %) выделены как потенциальные доноры ооцитов для процедуры ОРУ. Животные с низким EBV (11,3 % коров и 5,3 % телок), которые имеют отрицательные оценки по удою и компонентам молока (EBV-удой -78,-8...-341,8 кг, EBV-МДЖ -0,001...-0,14 %, EBV-МДБ -0,001...-0,07 %) определены как реципиенты эмбрионов, что позволяет эффективно использовать низкопродуктивную часть стада для получения генетически ценных потомков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования проведены за счет средств гранта по соглашению с Минобрнауки № 075-15-2025-183 от 17.04.2025 г.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В текущем исследовании не задействованы находящиеся под угрозой исчезновения или охраняемые животные, и все процедуры проводились в соответствии с этическими рекомендациями Федерального научного центра животноводства им. Л.К. Эрнста. Протокол № 5 от 17 июля 2023 г. был одобрен Комиссией по этике экспериментов на животных Федерального научного центра животноводства им. Л. К. Эрнста.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

- Кузнецов В. М. Современные методы анализа и планирования селекции в молочном стаде. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2001. 116 с.
- Оценка эффективности получения эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro* с использованием спермы, разделенной по полу / Г. Н. Сингина, Т. Е. Тарадайник, Е. Н. Шедова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 12. С. 95–97.
- Mueller M. L., Van Eenennaam A. L. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle // CAB International and Bioscience. 2022. Vol. 3. Article 13. URL: <https://cabiagbio.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43170-022-00080-z> (дата обращения: 20.06.2025). doi: 10.1186/s43170-022-00080-z.
- Comparison of cattle derived from *in vitro* fertilization, multiple ovulation embryo transfer, and artificial insemination for milk production and fertility traits / S. Lafontaine, R. Labrecque, P. Blondin, et al. // Journal of Dairy Science. 2023. Vol. 106. No. 6. P. 4380–4396. doi: 10.3168/jds.2022-22736.
- Characterization of best linear unbiased estimates generated from national genetic evaluations of reproductive performance, survival, and milk yield in dairy cows / F. L. Dunne, M. M. Kelleher, S. W. Walsh, et al. // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. No. 8. P. 7625–7637. doi: 10.3168/jds.2018-14529.
- A 100-year review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle—from daughter–dam comparisons to deep learning algorithms / K. A. Weigel, P. M. VanRaden, H. D. Norman, et al. // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100. No. 12. P. 10234–10250. doi: 10.3168/jds.2017-12954.
- Kathambi E. K., Sonstegard T. S., Larsen P. A. Review: Cross-breeding, advanced reproductive technologies, and genetic selection in twelve dairy production systems in Africa // Animal. 2025. Vol. 19. No. 3. Article 101424. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731125000072?via%3Dihub> (дата обращения: 20.06.2025). doi: 10.1016/j.animal.2025.101424.
- Genomic-based genetic parameters for daily milk yield and various lactation persistency traits in American Holstein cattle / P. R. Fotso-Kenmogne, P. L. S. Carneiro, D. A. Silva, et al. // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108. No. 7. P. 7329–7344. doi: 10.3168/jds.2024-25836.
- Invited review: Reproductive and genomic technologies to optimize breeding strategies for genetic progress in dairy cattle / A. Fleming, E. A. Abdalla, Ch. Maltecca, et al. // Arch. Anim. Breed. 2018. Vol. 61. No. 1. P. 43–57. doi: 10.5194/aab-61-43-2018.
- Чинаров Р. Ю., Луканина В. А., Сингина Г. Н. Результативность прижизненного получения ооцитов у коров тагильской породы // Ветеринария и кормление. 2024. № 1. С. 89–94. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-1-19.
- Hunter R. H. F., Lopez-Gatius F. From sperm to embryos; lessons learnt from Tim Rowson's career // Theriogenology. 2021. Vol. 172. P. 255–260. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.07.009.
- Formation of a cryobank of high producing cows' embryos in the conditions of the industrial dairy complex / S.

- Sidashova, O. Shcherbak, S. Kovtun, et al. // *Cryobiology*. 2021. Vol. 103. Article 203. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011224021003291?via%3Dihub> (дата обращения: 19.06.2025). doi: 10.1016/j.cryobiol.2021.11.154.
13. Expression of atresia biomarkers in granulosa cells after ovarian stimulation in heifers / D. A. Landry, L. Rossi-Perazza, S. Lafontaine, et al. // *Society for Reproduction and Fertility*. 2018. Vol. 156. No. 3. P. 239–248. doi: 10.1530/REP-18-0186.
14. Genetic analysis of in-vitro embryo production traits in Dairy Gir cattle / R. G. Vizona, B. C. Perez, M. G. C. D. Peixoto, et al. // *Theriogenology*. 2020. Vol. 148. P. 149–161. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.02.014.
15. Cattle production by intracytoplasmic sperm injection into oocytes vitrified after ovum pick-up / S. Kagawa, S. Hiraizumi, H. Bai, et al. // *Theriogenology*. 2022. Vol. 185. P. 121–126. doi: 10.1016/j.theriogenology.2022.03.022.
16. Результаты выделения ооцитов и получения IVP эмбрионов у тёлок истобенской породы в зависимости от режима проведения ОПУ / Г. Н. Сингина, Р. Ю. Чинаров, Е. Н. Шедова и др. // *Животноводство и кормопроизводство*. 2024. Т. 107. № 4. С. 283–294. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-283.
17. Сингина Г. Н., Чинаров Р. Ю., Шедова Е. Н. Влияние количества повторяющихся процедур ОПУ на эффективность получения in vitro эмбрионов у ярославской породы крупного рогатого скота // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 11. С. 59–64. doi: 10.53859/02352451_2023_37_11_59.
18. Кузнецов В. М. Методы племенной оценки животных с введением в теорию BLUP. Киров: Зональный НИ-ИХ Северо-Востока, 2003. 358 с.
19. Developing flexible models for genetic evaluations in smallholder crossbred dairy farms / R. Costilla, J. Zeng, M. Al. Kalaldehy, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2023. Vol. 106. No. 12. P. 9125–9135. doi: 10.3168/jds.2022-23135.
20. Changes in genetic trends in US dairy cattle since the implementation of genomic selection / F. L. Guinan, G. R. Wiggins, H. D. Norman, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2023. Vol. 106. No. 2. P. 1110–1129. doi:10.3168/jds.2022-22205.

References

1. Kuznetsov VM. *Sovremennye metody analiza i planirovaniya selektsii v molochnom stade* [Modern methods of analysis and planning of breeding in dairy herds]. Kirov (Russia): Zonal'nyi NIISKh Severo-Vostoka; 2001. 116 p. Russian.
2. Singina GN, Taradainik TE, Shedova EN, et al. [Evaluation of the efficiency of in vitro production of bovine embryos using sex-separated sperm]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2015;29(12):95-7. Russian.
3. Mueller ML, Van Eenennaam AL. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle. *CABI Agriculture and Bioscience* [Internet]. 2022 [cited 2025 Jun 20];3: Article 13. Available from: <https://cabiagbio.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43170-022-00080-z>. doi: 10.1186/s43170-022-00080-z.
4. Lafontaine S, Labrecque R, Blondin P, et al. Comparison of cattle derived from in vitro fertilization, multiple ovulation embryo transfer, and artificial insemination for milk production and fertility traits. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(6):4380-96. doi: 10.3168/jds.2022-22736.
5. Dunne FL, Kelleher MM, Walsh SW, et al. Characterization of best linear unbiased estimates generated from national genetic evaluations of reproductive performance, survival, and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(8):7625-37. doi: 10.3168/jds.2018-14529.
6. Weigel KA, VanRaden PM, Norman HD, et al. A 100-year review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle—from daughter–dam comparisons to deep learning algorithms. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(12):10234-50. doi: 10.3168/jds.2017-12954.
7. Kathambi EK, Sonstegard TS, Larsen PA. Review: Cross-breeding, advanced reproductive technologies, and genetic selection in twelve dairy production systems in Africa. *Animal* [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 20];19(3): Article 101424. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731125000072?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.animal.2025.101424.
8. Fotso-Kenmogne PR, Carneiro PLS, Silva DA, et al. Genomic-based genetic parameters for daily milk yield and various lactation persistency traits in American Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(7):7329-44. doi: 10.3168/jds.2024-25836.
9. Fleming A, Abdalla EA, Maltecca Ch, et al. Invited review: Reproductive and genomic technologies to optimize breeding strategies for genetic progress in dairy cattle. *Arch. Anim. Breed*. 2018;61(1):43-57. doi: 10.5194/aab-61-43-2018.
10. Chinarov RYu, Lukanina VA, Singina GN. [Efficiency of intravital oocyte retrieval in Tagil cows]. *Veterinariya i kormlenie*. 2024;(1):89-94. Russian. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-1-19.
11. Hunter RHF, Lopez-Gatius F. From sperm to embryos; lessons learnt from Tim Rowson's career. *Theriogenology*. 2021;172:255-60. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.07.009.
12. Sidashova S, Shcherbak O, Kovtun S, et al. Formation of a cryobank of high producing cows' embryos in the conditions of the industrial dairy complex. *Cryobiology* [Internet]. 2021 [cited 2025 Jun 19];103: Article 203. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011224021003291?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.cryobiol.2021.11.154.
13. Landry DA, Rossi-Perazza L, Lafontaine S, et al. Expression of atresia biomarkers in granulosa cells after ovarian stimulation in heifers. *Society for Reproduction and Fertility*. 2018;156(3):239-48. doi: 10.1530/REP-18-0186.
14. Vizona RG, Perez BC, Peixoto MGCD, et al. Genetic analysis of in-vitro embryo production traits in Dairy Gir cattle. *Theriogenology*. 2020;148:149-61. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.02.014.
15. Kagawa S, Hiraizumi S, Bai H, et al. Cattle production by intracytoplasmic sperm injection into oocytes vitrified after ovum pick-up. *Theriogenology*. 2022;185:121-6. doi: 10.1016/j.theriogenology.2022.03.022.
16. Singina GN, Chinarov RYu, Shedova EN, et al. [Results of oocyte isolation and obtaining IVP embryos in Istoben heifers depending on the OPU regimen]. *Zhivotnovodstvo i kormoproduzvodstvo*. 2024;107(4):283-94. Russian. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-283.
17. Singina GN, Chinarov RYu, Shedova EN. [Influence of the number of repeated OPU procedures on the efficiency of in vitro embryo production in Yaroslavl cattle breed]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023;37(11):59-64. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_11_59.
18. Kuznetsov VM. *Metody plemennoi otsenki zhivotnykh s vvedeniem v teoriyu BLUP* [Methods of breeding animal evaluation with an introduction to BLUP theory]. Kirov: Zonal'nyi NIISKh Severo-Vostoka; 2003. 358 p. Russian.
19. Costilla R, Zeng J, Kalaldehy MAI, et al. Developing flexible models for genetic evaluations in smallholder crossbred dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(12):9125-35. doi: 10.3168/jds.2022-23135.
20. Guinan FL, Wiggins GR, Norman HD, et al. Changes in genetic trends in US dairy cattle since the implementation of genomic selection. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(2):1110-29. doi:10.3168/jds.2022-22205.

Поступила в редакцию 16.07.2025 После доработки 11.08.2025 Принята к публикации 27.08.2025